

БУТУЗОВА Антонида Васильевна

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ СЛУЖБОЙ
СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ**

Специальность

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Казань – 2009

Работа выполнена
в Казанском государственном техническом университете им. А.Н. Туполева

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Моисеев Виктор Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Балоев Арнольд Андреевич

доктор физико-математических наук, профессор
Кирпичников Александр Петрович

Ведущая организация: Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола

Защита состоится "16" декабря 2009 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.079.01 в Казанском государственном техническом университете им. А.Н. Туполева по адресу: 420111, ул. К. Маркса, 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. Автореферат диссертации размещен на сайте Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева www.kai.ru

Автореферат разослан "12" ноября 2009 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000621085

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, профессор

П.Г. Данилаев

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Среди проблем структурного реформирования и информатизации отрасли здравоохранения в Российской Федерации важнейшее значение имеет совершенствование службы скорой медицинской помощи (ССМП). Одним из основных направлений в повышении эффективности функционирования ССМП является информатизация ее деятельности.

Целями информатизации любой области здравоохранения являются снижение затрат, связанных с обработкой медицинской информации, совершенствование форм ее представления для более глубокого и всестороннего анализа, улучшение организации и повышение эффективности лечебно-диагностических процессов. Вопросы информатизации здравоохранения в целом и ССМП, в частности, посвящены работы А.З. Виноградова, Ш.И. Галиева, В.А. Журавлева, Н.Г. Зенкина, В.Н. Каркавина, Л.Ю. Емалетдиновой, А.А. Карпеева, Г.И. Куценко, В.М. Синявского, Ю.М. Янкина, Л.А. Мыльниковой и др. специалистов.

Как показал анализ, в существующей литературе отсутствуют конкретные современные методики и комплексы программ автоматизации формирования и принятия решений в управлении ССМП на всех ее уровнях.

Таким образом, весьма актуальной и практически значимой остается задача разработки математических моделей, методов, информационных технологий и комплексов средств автоматизации управления (КСАУ) ССМП.

Целью работы является повышение эффективности функционирования ССМП за счет применения современных математических моделей, методов, средств автоматизации и информационных технологий в управлении ССМП.

Задачи исследования:

- 1) Системный анализ процесса управления ССМП.
- 2) Постановка задач управления ССМП.
- 3) Разработка математических моделей, методов, алгоритмов и информационных технологий решения рассматриваемых задач управления ССМП.
- 4) Разработка структуры и состава КСАУ ССМП.

Методы исследования. При решении сформулированных в работе задач используются методы системного анализа, векторной оптимизации, дискретной оптимизации, теории вероятностей, теории марковских процессов, имитационное моделирование, модели и методы теории надежности технических систем.

Научная новизна:

1. Введены основные понятия и принципы управления ССМП.
2. Разработаны математические модели, методы и алгоритмы решения рассматриваемых задач управления ССМП, реализуемые в рамках системы поддержки принятия управленческих решений в среде КСАУ ССМП.
3. Введены принципы построения и предложен состав перспективного комплекса средств автоматизации управления ССМП.

Практическая ценность работы. Рассмотренные в диссертации задачи сформулированы, исходя из практических потребностей автоматизации управления ССМП различных по численности населенных пунктов РФ. Решение этих задач осуществлялось в рамках выполнения совместных НИР, проводимых Казанским государственным техническим университетом им. А.Н. Туполева с ОАО «ИСК КПО ВС» (НИР № ПМ-9 СН), с Альметьевской станцией СМП (НИР № ПМ-15 СН), с Казанским во-

енным артиллерийским командным училищем им. М.Н. Чистякова (НИР № 0-06-685-2), в которых автор принимал участие как исполнитель.

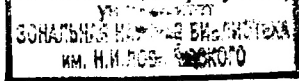
Применение на практике предлагаемых в работе математических моделей и информационных технологий позволит повысить оперативность работы ССМП и надежность работы КСАУ ССМП.

Достоверность исследования. В работе приведены примеры практического решения сформулированных задач. Адекватность разработанных математических моделей, методов и алгоритмов подтверждается результатами проведенных вычислительных экспериментов и внедрений теоретических и практических результатов диссертационной работы.

Реализация результатов работы. Теоретические и практические результаты диссертационной работы были внедрены в ОАО «ИЛ КПО ВС», на станции СМП г. Альметьевска, в КВАКУ им. М.Н. Чистякова. Отдельные результаты работы были также использованы в учебном процессе кафедры Прикладной математики и информатики КГТУ им. А.Н. Туполева.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных, всероссийских, республиканских конференциях и семинарах, в их числе: Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых учёных и специалистов «Биотехнологические, медицинские и экологические системы и комплексы» (Рязань, 2003); Международная молодежная научная конференция "XXX Гагаринские чтения" (Москва, 2004); 5-ая Международная научно-техническая конференция «Компьютерное моделирование 2004» (С.-Петербург, 2004); XII Международная молодежная научная конференция "Туполевские чтения" (Казань, 2004); Всероссийская научная конференция "Теория и практика системной динамики" (Апатиты, 2004); 2-я Ежегодная международная научно-практическая конференция «Инфокоммуникационные технологии глобального информационного общества» (Казань, 2004); XIII Международная научно-практическая конференция «Управление организацией: диагностика, стратегия, эффективность» (С.-Петербург, 2005); юбилейная конференция «Туполевские чтения: Международная молодежная конференция, посвященная 1000-летию города Казани» (Казань, 2005); 12-ая Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2005» (Москва, 2005); X Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении» (С.-Петербург, 2006); IV Российско-украинский научно-технический и методический симпозиум «Информационно-вычислительные технологии и их приложения» (Пенза, 2006); Международная молодежная конференция «XIV Туполевские чтения» (Казань, 2006); II Всероссийская конференция «Теория и практика системной динамики» (Апатиты, 2007); Всероссийский семинар «Автоматизированная система управления «Скорая медицинская помощь»: прошлое, настоящее, будущее» (Казань, 2008).

Публикации и структура диссертации. Основное содержание диссертации отражено в 21 печатной работе, в том числе в 2 научных статьях, опубликованных в журналах из перечня изданий ВАК РФ. Материалы диссертации вошли в 3 отчёта по НИР, в которых автор принимал участие как исполнитель. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 159 страниц основного текста, 56 рисунков, 28 таблиц; список ли-



тературы включает 84 наименования, объём приложений – 22 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы проводимых исследований, сформулирована цель работы, задачи исследования и разработок, отражена их практическая ценность, приведена структура диссертации.

В первой главе приводится структура, функции и технология работы ССМП в целом. Выделена многоуровневая структура системы управления ССМП РФ, в которую входят управляющая и управляемая подсистемы. Первая подсистема состоит из федеральных, региональных, городских органов управления и органов управления ССМП. Управляемая подсистема включает в себя исполнительные органы ССМП, дежурные лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ) и обслуживаемое население. В данной работе рассматривается управляемая подсистема.

В существующей литературе отсутствует четкое понятие процесса управления ССМП. Поэтому в работе были сформулированы принципы эффективного решения задач управления ССМП и предложено определение процесса управления ССМП, под которым понимается процесс формирования, выбора и реализации управленческих решений по повышению оперативности обслуживания вызовов, формированию оптимального состава персонала ССМП, обеспечению эффективного взаимодействия с внешними организациями, сокращению материально-технических затрат на обслуживание вызовов.

На основе комплексного анализа деятельности ССМП построено дерево целей и задач управления ССМП, представленное на Рис. 1.



Рис. 1.

Вся совокупность управленческих решений в ССМП подразумевает выработку и принятие следующих решений:

1. Аналитические решения, которые связаны с анализом функционирования ССМП как сложной системы (например, прогнозирование среднего количества вы-

зовов, прогнозирование среднего количества койко-мест в ЛПУ и др.);

2. Организационные решения, направленные на ликвидацию недостатков функционирования системы (например, оптимизация количества автотранспорта, оптимизация состава запасных элементов КСАУ ССМП и др.);

3. Оперативные решения, связанные непосредственно с текущим управлением деятельностью ССМП (например, оптимизация времени обслуживания вызовов бригадами, планирование госпитализации больных бригадами и др.).

Для постановки и решения задач управления ССМП предлагается использовать общую теоретико-множественную модель, описывающую ССМП как сложную организационно-техническую систему на морфологическом уровне:

$$ССМП = \{T, K, A_1, A_2, \dots, A_8, A_9, V', S, L', R_1, R_2, \dots, R_{11}, Q'_1, Q'_2, Q'_3, Q'_4\}, \quad (1)$$

где T – хронология функционирования ССМП, K – карта обслуживаемой территории, A_1 – множество видов оказываемой медицинской помощи, A_2 – списочный состав медицинского персонала, A_3 – списочный состав организационно-управленческого персонала, A_4 – множество бригад, A_5 – множество автомашин, A_6 – множество состояний процессов эксплуатации автомобилей, A_7 – множество подразделений, A_8 – множество технических средств связи, A_9 – множество ресурсов ССМП.

Взаимодействие компонент ССМП описывается отношениями вида:

$$R_1 \subseteq A_1 \times A_2, R_2 \subseteq A_1 \times A_2 \times A_4, R_3 \subseteq T \times A_6 \times A_5, R_4 \subseteq A_1 \times A_5, R_5 \subseteq A_1 \times A_4 \times A_5, \\ R_6 \subseteq A_3 \times A_7, R_7 \subseteq A_7 \times A_7, R_8 \subseteq A_3 \times A_8, R_9 \subseteq A_{91} \times A_4, R_{10} \subseteq A_{92} \times A_4, R_{11} \subseteq A_{93} \times A_7.$$

Здесь R_1 – специализация медперсонала, R_2 – распределение медперсонала по специализированным бригадам, R_3 – текущее техническое состояние автомобилей, R_4 – специализация автомашин по установленному в них оборудованию, R_5 – распределение бригад по автомобилям, R_6 – распределение сотрудников по подразделениям, R_7 – организационная структура ССМП, R_8 – распределение технических средств связи между организационно-управленческим персоналом, R_9, R_{10}, R_{11} – оснащение ресурсами бригад и подразделений.

Следующим уровнем описания ССМП является формальное представление ее функционирования:

$$Q'_1 \subseteq V' \times A_1, Q'_2 \subseteq T \times A_4 \times S, Q'_3 \subseteq V' \times A'_4 \times K, Q'_4 \subseteq V' \times L' \times K,$$

где Q'_1 – установление с помощью симптомов болезни вида помощи, которая должна быть предоставлена больному, Q'_2 – распределение бригад по их состояниям в каждый момент времени t , Q'_3 – распределение свободных бригад по поступившим вызовам, Q'_4 – направление госпитализируемых больных в ЛПУ, $V' = \langle V_{адр}, V_{смп} \rangle$ – множество вызовов, поступивших на пульт ССМП в момент времени t , $S = \{S_1, S_2\}$ – множество состояний бригад, L' – множество дежурных ЛПУ в момент времени t .

Модель (1), кроме концептуального представления ССМП, может быть использована при проектировании базы данных ССМП, т.к. она является достаточно полным формальным описанием инфологической схемы предметной области ССМП. Следует отметить, что в настоящее время описание таких схем проводится в словес-

ном виде. Функциональные отношения Q_1', Q_2, Q_3', Q_4' можно рассматривать как концептуальное представление основных задач принятия оперативных управленческих решений, математические модели которых представлены во второй главе работы. Морфологическая часть модели (1) используется при построении КСАУ ССМП, рассмотренного в главе 3.

Во второй главе сформулированы математические модели и рассмотрены методы и алгоритмы решения некоторых задач управления ССМП.

При совершенствовании ССМП значительное место отводится задачам формирования эффективных управленческих решений с помощью задачи дискретной векторной оптимизации вида:

$$(W_1(x), W_2(x), \dots, W_r(x)) \rightarrow \max, (W_{r+1}(x), W_{r+2}(x), \dots, W_k(x)) \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$\varphi(x) \geq 0, x_1, x_2, \dots, x_n \in \{0, 1, 2, 3, \dots\}, \quad (3)$$

где $W(x) = (W_1(x), W_2(x), \dots, W_k(x))$ – вектор целевых функций (показателей эффективности) решаемой задачи; $\varphi(x) = (\varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots, \varphi_m(x))$ – вектор ограничений, накладываемых на неизвестные переменные задачи; $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор искомых решений.

Для решения задачи (2) – (3) был разработан численный метод, включающий в себя следующие типовые этапы:

1⁰. Построение приближенного представления X множества допустимых решений задачи с использованием условий (3), путем генерации случайных значений.

2⁰. Формирование соответствующего приближенного представления \tilde{G} путем вычисления значений целевых функций (2) для сгенерированных на первом этапе значений $x^i \in X, i = \overline{1, N}$.

3⁰. Выделение в множестве \tilde{G} подмножества паретооптимальных (эффективных) решений с использованием понятия ортогонального конуса вида:

$$C_s^k = \{(W_1(x), W_2(x), \dots, W_k(x)) \in E^k \mid (W_j(x) \geq W_j(x^s), j = \overline{1, r}) \& (W_j(x) \leq W_j(x^s), j = \overline{r+1, k})\}, s = \overline{1, N}. \quad (4)$$

В разработанном методе, существенное значение, с точки зрения точности получаемых результатов, имеет объем N выполняемых статистических экспериментов. Поэтому в данном методе предлагается использовать следующее правило останова: «Процесс последовательного выполнения этапов 1⁰ – 3⁰ завершается, если при N статистических экспериментах достигается заданная точность сходимости».

В ходе применения предлагаемого метода лицу принимающему решение (ЛПР) для последующего выбора приемлемого варианта выдается результат решения рассматриваемой задачи.

Решение задач оптимизации транспортных операций ССМП по обслуживанию вызовов способствует повышению оперативности обслуживания вызовов и своевременной госпитализации тяжелобольных и пострадавших в ЛПУ, что напрямую влияет на снижение летальности при оказании СМП.

Оптимальное планирование обслуживания вызовов бригадами предлагается осуществлять следующим образом. Требуется распределить имеющиеся в данный момент времени t бригады по поступившим вызовам так, чтобы затраты времени на

перемещение от места их дислокации до места вызова были минимальными, профиль каждой направляемой бригады максимальным образом соответствовал профилю обслуживаемого ею вызова и вызовы были обслужены в соответствии с их приоритетом. Математическая модель задачи имеет вид:

$$T_{nep} = \max_{\substack{1 \leq i \leq n(\tau) \\ 1 \leq j \leq m(\tau)}} \{t_{ij}(\tau)x_{ij}(\tau)\} \rightarrow \min, \quad W = \sum_{i=1}^{n(\tau)} \sum_{j=1}^{m(\tau)} w_{ij}x_{ij}(\tau) \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$S = \max_{\substack{1 \leq i \leq n(\tau) \\ 1 \leq j \leq m(\tau)}} \{s_j(\tau)x_{ij}(\tau)\} \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{n(\tau)} x_{ij}(\tau) = 1, j = \overline{1, m(\tau)}, \quad \sum_{j=1}^{m(\tau)} x_{ij}(\tau) = 1, i = \overline{1, n(\tau)}, \quad (7)$$

$$0 \leq x_{ij}(\tau) \leq 1, \quad x_{ij}(\tau) \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n(\tau)}, \quad j = \overline{1, m(\tau)}, \quad \tau \in T. \quad (8)$$

где $m(\tau) = |V^r|$ – число вызовов, $n(\tau)$ – число свободных бригад, T_{nep} – затраты времени на выполнение доезда бригады до вызова, W – суммарное соответствие профиля заболевания больного специализации бригады, S – приоритет обслуживаемых вызовов, $t_{ij}(\tau)$ – затраты времени на передвижение i -ой бригады до местоположения j -го вызова, $w_{ij} \geq 0$ – коэффициенты соответствия профиля заболевания j -го вызова специализации i -ой бригады, $s_j(\tau)$ – приоритет j -го вызова, $x_{ij}(\tau)$ – назначение i -ой бригады на j -ый вызов.

Модель (5) – (8) справедлива для случая когда $m(\tau) = n(\tau)$. Практика работы ССМП показывает, что в произвольный момент времени τ возможны ситуации, когда количество бригад и вызовов различно ($m(\tau) > n(\tau)$ или $m(\tau) < n(\tau)$). В этих случаях ограничения (7) принимают соответственно вид:

$$\sum_{i=1}^{n(\tau)} x_{ij}(\tau) \geq 1, j = \overline{1, m(\tau)}, \quad \sum_{j=1}^{m(\tau)} x_{ij}(\tau) = 1, i = \overline{1, n(\tau)} \quad (9)$$

$$\text{или } \sum_{i=1}^{n(\tau)} x_{ij}(\tau) = 1, j = \overline{1, m(\tau)}, \quad \sum_{j=1}^{m(\tau)} x_{ij}(\tau) \leq 1, i = \overline{1, n(\tau)}. \quad (10)$$

Общий алгоритм планирования обслуживания вызовов бригадами ССМП содержит следующие этапы: 1) диспетчер приема вызовов через автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера принимает, регистрирует и передает фельдшеру-эвакуатору вызовы; фельдшер-эвакуатор с помощью АРМ фельдшера-эвакуатора проводит следующие действия: 2) ранжирует вызовы по приоритетам; 3) определяет наличие свободных бригад, их специализацию и местоположение; 4) формирует множество вариантов назначений бригад на вызовы в зависимости от следующих условий: 4.1) если количество свободных бригад равно количеству вызовов, то проводится решение задачи (5), (7), (8); 4.2) если количество свободных бригад больше количества вызовов, то проводится решение задачи (5), (9), (8); 4.3) если количество свободных бригад меньше количества вызовов, то проводится решение задачи (5), (6), (10), (8); 5) фельдшер-эвакуатор принимает решение о назначении бригад на вызовы; 6) фельдшер-эвакуатор передает старшим бригад адреса вызовов.

Предложена математическая модель для формирования оптимального плана

массовых перевозок больных в дежурные ЛПУ за минимальное время транспортировки с максимальным учетом профиля ЛПУ и минимального времени подготовки в них койко-мест, которая имеет вид:

$$\begin{aligned}
 T_{nep} = \max_{\substack{1 \leq i \leq m(\tau) \\ 1 \leq j \leq n(\tau)}} \{t_{ij}(\tau)x_{ij}(\tau)\} \rightarrow \min, \quad W = \sum_{i=1}^{n(\tau)} \sum_{j=1}^{m(\tau)} w_{ij}(\tau)x_{ij}(\tau) \rightarrow \max, \\
 T_{пп} = \sum_{j=1}^{m(\tau)} \tau_j^{пп}(\tau)z_j(\tau) \rightarrow \min, \\
 \sum_{j=1}^{m(\tau)} x_{ij}(\tau) = 1, \quad i = \overline{1, n(\tau)}, \quad \sum_{i=1}^{n(\tau)} x_{ij}(\tau) = z_j(\tau), \quad j = \overline{1, m(\tau)}, \quad \sum_{j=1}^{m(\tau)} z_j(\tau) = n, \quad x_{ij} \in \{0,1\}, \\
 z_j \in \{0,1,2,3,\dots,b_j\}, \quad i = \overline{1, n(\tau)}, \quad j = \overline{1, m(\tau)}, \quad \tau \in T,
 \end{aligned} \tag{11}$$

где $m(\tau) = |L^+|$ – количество дежурных ЛПУ, $n(\tau)$ – количество госпитализируемых больных в момент времени τ , T_{nep} – затраты времени на выполнение всех транспортировок больных, W – суммарное соответствие профиля заболевания больного профилю ЛПУ, $T_{пп}$ – общие затраты времени на подготовку к приему больных во всех ЛПУ, $t_{ij}(\tau)$ – время транспортировки больного с i -го вызова в j -ое ЛПУ, $w_{ij} \geq 0$ – показатели соответствия профиля i -го вызова профилю j -го ЛПУ $b_j(\tau)$ – количество свободных койко-мест в j -ом ЛПУ, $x_{ij}(\tau)$ – количество больных, которые должны быть госпитализированы с i -го вызова в j -ое ЛПУ, $z_j(\tau)$ – количество больных, которые будут госпитализированы в j -ое ЛПУ, $\tau_j^{пп}(\tau)$ – время подготовки одного койко-места в j -ом ЛПУ, где $i = \overline{1, n(\tau)}$, $j = \overline{1, m(\tau)}$.

Алгоритм принятия решений о плане госпитализации больных в дежурные ЛПУ включает в себя следующие основные этапы: фельдшер-эвакуатор через свое АРМ выполняет следующие действия: 1) принимает от старшего бригады и регистрирует информацию о количестве госпитализируемых больных и требуемый профиль ЛПУ; 2) определяет количество дежурных ЛПУ и их адреса; 3) принимает от приемных покоев дежурных ЛПУ информацию о времени подготовки койко-мест; 4) решает задачу (11); 5) фельдшер-эвакуатор принимает решение о распределении госпитализируемых больных по дежурным ЛПУ; 6) фельдшер-эвакуатор передает старшим бригад название дежурных ЛПУ для госпитализации больных.

Сформулированные выше задачи (5) – (8) и (11) предлагается решать с помощью разработанного численного метода задачи (2) – (3).

В сформулированных задачах планирования обслуживания вызовов бригадами СМП и планирования госпитализации ими больных в качестве одного из требований выступает минимизация затрат времени на передвижение бригады от места дислокации до места вызова и от места вызова до ЛПУ соответственно. Проведя анализ возможности применения классической транспортной задачи (КТЗ) для решения практических транспортных задач при оказании СМП населению, была сформулирована постановка модифицированной КТЗ со следующими допущениями: рассматривается задача минимизации не только временных затрат на перевозку, но и на подготовку к выполнению транспортных операций по перевозке груза из i -го пунк-

та отправления (ПО) в j -ый пункт назначения (ПН) с учетом заданных приоритетов маршрутов перевозок; вопросы оптимальной загрузки используемых транспортных средств не рассматриваются; не учитывается оптимизация маршрутов передвижения транспортных средств. При этом математическая модель модифицированной КТЗ имеет вид:

$$T_{nep} = \max_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq j \leq m}} \{t_{ij} x_{ij}\} \rightarrow \min_{x_{ij}}, \quad W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} x_{ij} \rightarrow \max_{x_{ij}}, \quad T_{пп} = \sum_{j=1}^m \tau_j^{пп} z_j \rightarrow \min_{z_j},$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = a_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = z_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad \sum_{j=1}^m z_j = \sum_{i=1}^n a_i,$$

$$x_{ij} \in \{0, 1, 2, 3, \dots\}, \quad z_j \in \{0, 1, 2, 3, \dots, b_j\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m},$$

где T_{nep} – общие затраты времени на выполнение всех перевозок в системе, W – суммарная приоритетность маршрутов перевозки груза, $T_{пп}$ – общие затраты времени на подготовку к приему груза во всех ПН, t_{ij} – затраты времени на выполнение одной поездки транспортного средства от i -го ПО до j -го ПН, $w_{ij} \geq 0$ – приоритеты поставок груза из каждого ПО каждому ПН, $\tau_j^{пп}$ – затраты времени на подготовку к приему груза в j -ом ПН, a_i – объем запаса рассматриваемого груза в i -ом ПО, b_j – потребность в грузе в j -ом ПН, x_{ij} – количество груза, перевозимого из i -го ПО в j -ый ПН, z_j – количество груза, которое будет поставлено в j -ый ПН.

Для бесперебойной работы ССМП необходимо наличие пополняемого парка исправных автомобилей. В процессе эксплуатации в любой случайный момент времени автомобилям может потребоваться ремонт или они могут быть списаны при невозможности выполнения ремонта. Отсюда возникает задача прогнозирования численности парка действующих автомобилей. Для решения этой задачи предлагается использовать известный формализм «динамики средних», учитывающий множество A_6 состояний автомобиля: A_{61} – автомобиль находится в рабочем состоянии; A_{62} – автомобиль находится в состоянии ремонта; A_{63} – автомобиль списывается.

Интенсивности перехода процесса из состояния A_{6i} в состояние A_{6j} могут быть вычислены следующим образом ($i, j = \overline{1, 3}$):

$$\lambda_{12} = 1/T_1, \quad \lambda_{21} = p_{21}/T_2, \quad \lambda_{23} = p_{23}/T_2. \quad (12)$$

где T_1 – среднее время безотказной работы автомобиля, T_2 – среднее время ремонта автомобиля, p_{21} и p_{23} – вероятности перехода процесса из состояния A_{62} в состояние A_{61} и A_{63} .

Математическая модель динамики средних численностей автомобилей, записывается как:

$$\begin{aligned} \dot{m}_1(t) &= -\lambda_{12}m_1(t) + \lambda_{21}m_2(t), \\ \dot{m}_2(t) &= -\lambda_{21}m_2(t) - \lambda_{23}m_2(t) + \lambda_{12}m_1(t), \quad \dot{m}_3(t) = \lambda_{23}m_2(t), \end{aligned} \quad (13)$$

$$m_1(t) + m_2(t) + m_3(t) = N, \quad m_1(0) = N, \quad m_2(0) = 0, \quad m_3(0) = 0,$$

где $m_i(t)$ – среднее количество автомобилей, находящихся в состоянии A_{6i} в момент времени $t \in T$, $i = \overline{1, 3}$; $N = |A_5|$ – общее число автомобилей в ССМП на момент на-

чала прогнозирования.

Аналитическое решение задачи (13) имеет вид:

$$\begin{aligned} m_1(t) &= N[(a_1 + \lambda_{21} + \lambda_{23})e^{a_1 t} - (a_2 + \lambda_{21} + \lambda_{23})e^{a_2 t}] / (a_1 - a_2), \\ m_2(t) &= N\lambda_{12}[e^{a_1 t} - e^{a_2 t}] / (a_1 - a_2), \end{aligned} \quad (14)$$

$$m_3(t) = N[(a_1 - a_2) - (a_1 + \lambda_{12} + \lambda_{21} + \lambda_{23})e^{a_1 t} + (a_2 + \lambda_{12} + \lambda_{21} + \lambda_{23})e^{a_2 t}] / (a_1 - a_2).$$

Здесь параметры a_1, a_2 вычисляются по формулам вида:

$$a_1 = -(\lambda_{12} + \lambda_{21} + \lambda_{23}) + \sqrt{(\lambda_{12} - \lambda_{21} - \lambda_{23})^2 + 4\lambda_{12}\lambda_{21}} / 2,$$

$$a_2 = -(\lambda_{12} + \lambda_{21} + \lambda_{23}) - \sqrt{(\lambda_{12} - \lambda_{21} - \lambda_{23})^2 + 4\lambda_{12}\lambda_{21}} / 2.$$

Момент времени τ_{\max} , когда максимальное число автомобилей СМП будет находиться в ремонте, вычисляется как:

$$\tau_{\max} = \arg \max_{t \geq 0} m_2(t) = \ln(a_2 / a_1) / (a_1 - a_2), \quad (15)$$

при этом величина τ_{\max} не зависит от числа автомобилей N и определяется только характеристиками их надежности и ремонтпригодности.

Отметим, что $m_3(t)$ позволяет описывать динамику пополнения парка автомобилей до начального количества N .

Среднеквадратические отклонения числа автомобилей, находящихся в различных состояниях, вычисляются по формуле:

$$\sigma_i(t) = \sqrt{m_i(t)(1 - m_i(t)/N)}, \quad i = \overline{1,3}. \quad (16)$$

Прогнозирование динамики действующего парка автомобилей предлагается осуществлять по следующему алгоритму. Начальник гаража через АРМ выполняет следующие действия: 1) собирает статистические данные о времени работы и ремонта автомобилей, количестве списанных автомобилей; 2) строит числовые оценки среднего времени T_i пребывания процесса в каждом состоянии и вероятности p_{ij} его перехода из состояния A_{6i} в состояние A_{6j} , $k, j = \overline{1,3}$; 3) вычисляет интенсивности λ_{ij} , $k, j = \overline{1,3}$, по формулам (12); 4) вычисляет начальные значения математических ожиданий $m_i(0)$, $k, j = \overline{1,3}$; 5) проводит табулирование функций $m_i(t)$, $\sigma_i(t)$ $i = \overline{1,3}$, с требуемым значением шага Δt из отрезка времени $[t_{\text{нач}}, t_{\text{кон}}]$ по формулам (14), (16); 6) вычисляет интервальные оценки числа автомобилей, которые могут находиться в различных состояниях, по формуле $\tilde{X}_i(t) = [m_i(t) \pm 3\sigma_i(t)]$, $i = \overline{1,3}$; 7) вычисляет моменты времени τ_{\max} , когда максимальное число автомобилей будет находиться в ремонте, по формуле (15); 8) главный врач ССМП на основе полученного прогноза принимает решение о количестве закупаемых автомобилей.

Как показала практика, процесс обслуживания населения ССМП является по своей природе дискретным случайным процессом, в котором случайный поток вызовов, поступающих на пульт ССМП, фиксируемый в дискретные моменты времени, не является пуассоновским потоком, а также случайные затраты времени на их обслуживание бригадами СМП не подчиняются показательному закону распределения (см. Рис. 2. - Рис. 4.).

Chi-Square = 14,59739, df = 5, p = 0,01222

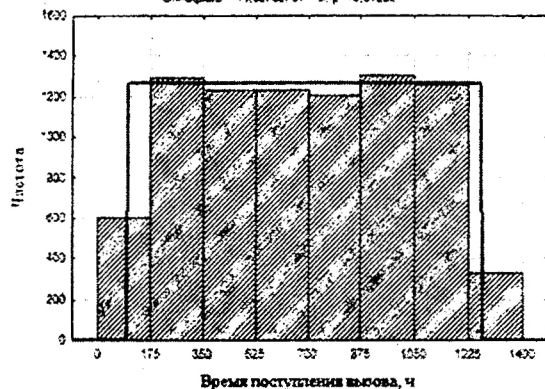


Рис. 2.

Chi-Square test = 20,95785, df = 2 (adjusted), p = 0,00000

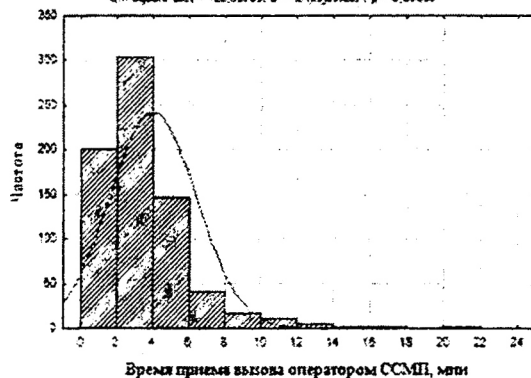


Рис. 3.

Chi-Square test = 185,21821, df = 4 (adjusted), p = 0,00000

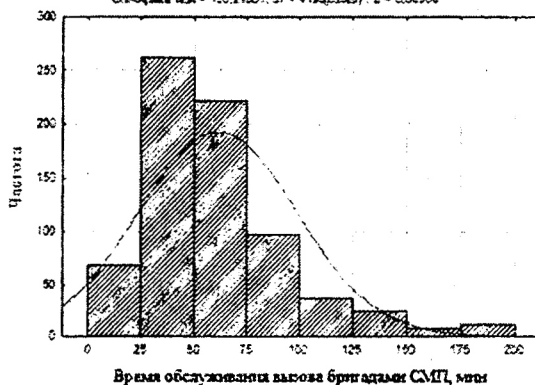


Рис. 4.

Эти особенности не позволяют использовать для прогнозирования рассматри-

ваемого процесса классический аппарат метода «динамики средних».

Для решения данной задачи был разработан дискретный метод «динамики средних», который позволяет учесть такие дополнительные факторы как сезонность числа поступающих вызовов, их динамику во время развития и спада эпидемий и т.п., математическая модель которого имеет вид:

$$m_i(t + \Delta t) = \sum_{v=1}^n \sum_{j=1}^n m_j(t) P_{iv}(t) P_{vj}(\Delta t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

$$m_i(t_0) = m_i^{(0)}, \quad P_{ij}(t_0) = P_{ij}^{(0)}, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^n m_i(t) = N, \quad \sum_{j=1}^n P_{ij}(t) = 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad t \in \{t_0, t_1, \dots, t_k\}. \quad (19)$$

Здесь N – количество жителей обслуживаемого населенного пункта (НП); $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ – множество состояний, в которых может находиться каждый житель НП в момент времени t ; $m_i(t + \Delta t)$, $m_i(t)$ – среднее значение числа вызовов ССМП в момент времени $t + \Delta t$ и t ; $P_{ij}(t + \Delta t)$ – условные вероятности переходов, описывающие изменение состояний вызовов во времени; $m_i^{(0)}$ – математическое ожидание числа вызовов, находящихся в начальный момент времени t_0 в состоянии S_i .

Алгоритм построения прогноза количества вызовов СМП состоит из следующих основных этапов. Заведующий оперативным отделом выполняет ряд действий через АРМ: 1) собирает статистические данные о количестве поступивших и обслуженных вызовов; 2) вычисляет начальные значения математических ожиданий $m_i(t_0)$ и переходных вероятностей $P_{ij}(t_0)$, $i, j = \overline{1, 2}$ по формулам (18); 3) проводит табулирование функций $m_i(t)$, $i = \overline{1, 2}$, по формулам (17), с учетом условий (19).

Важной с точки зрения совершенствования работы ССМП является задача оптимизации количества диспетчеров и бригад ССМП, имеющая вид:

$$T = F(x, y) \rightarrow \min, \quad C = c_d x + c_b y \rightarrow \min, \quad x, y \in \{1, 2, 3, \dots\}, \quad (20)$$

где T – среднее время обслуживания одного вызова, C – средние затраты на обслуживание одного вызова, c_d – средняя стоимость приема одного вызова одним диспетчером, c_b – средняя стоимость обслуживания одного вызова одной бригадой, x – количество диспетчеров, y – количество бригад.

Для решения задачи (20) был использован численный метод построения оптимального по Парето множества решений, разработанный для решения задачи (2) – (3), где значения функции T вычисляются с помощью разработанной имитационной модели работы ССМП.

Общий алгоритм оптимизации количества диспетчеров приема и бригад содержит следующие этапы: 1) бухгалтер ССМП рассчитывает среднюю стоимость регистрации вызова диспетчером приема вызовов и среднюю стоимость обслуживания вызова бригадой СМП; 2) заведующий оперативным отделом с помощью своего автоматизированного рабочего места (АРМ) решает задачу (20) оптимизации числа диспетчеров и бригад СМП; 3) на основе полученных данных, а также дополнительной информации о средней длине очереди вызовов, ожидающих обслуживания, и о времени простоя диспетчеров и бригад, главный врач ССМП принимает решение об изменении количества диспетчеров и бригад; 4) на основе принятого решения на-

чальник гаража вводит в эксплуатацию автомобиля СМП.

Третья глава посвящена разработке типового КСАУ ССМП. Достижение глобальной цели повышения эффективности функционирования ССМП, представленной на рис. 1, требует использования не только современных математических моделей и методов, но и перспективных средств информатизации и специальных информационных технологий для внедрения последних в составе КСАУ в практику работы ССМП. В главе сформулированы следующие принципы построения КСАУ ССМП: наличие распределенной структуры; оснащение современными аппаратно-программными и телекоммуникационными средствами; оперативное взаимодействие с другими службами; использование современных информационных технологий; надежная и безопасная работа системы; формирование результатов комплекса в удобной форме.

Комплекс автоматизации сбора и обработки информации включает в себя совокупность АРМ, предназначенных для автоматизации деятельности персонала ССМП. В состав КСАУ предлагается включить АРМ специалистов ССМП, осуществляющих контроль за процессом работы службы и принятия аналитических, организационных и оперативных решений. При этом различные виды АРМ объединены в функциональные группы: оперативный отдел, бригада, подстанция, медицинская статистика и архив, аптека и заправочные станции, гараж, управление ССМП. В состав КСАУ ССМП, наряду с типовыми АРМ, предлагается включить мобильный АРМ старшего бригады, расположенный непосредственно в автомобиле бригады СМП. Такой АРМ предназначен для решения следующих задач: получение сведений о больном от диспетчера ССМП; запрос и изучение истории болезни больного из БД поликлиники; запись координат месторасположения бригады и передача их на АРМ фельдшера-эвакуатора; ориентирование на местности по электронной карте НП; получение справочной информации медицинского характера; определение дежурного ЛПУ; передача первичного диагноза в БД приемного покоя ЛПУ.

КСАУ ССМП формируется на основе следующих видов обеспечения: 1) математическое обеспечение, включающее в себя модели, методы и алгоритмы решения задач управления; 2) техническое обеспечение, состоящее из технических средств КСАУ; 3) программное обеспечение, представляющее комплекс программ, предназначенных для автоматизации решения задач управления ССМП; 4) информационное обеспечение, включающее в себя БД, процедуры технологии, реализованные в составе соответствующих комплексов программ, а также пользователей системы (см. рис. 5).

Для описания КСАУ ССМП предлагается морфологическая модель вида:

$$КСА = \{P, A_1, \dots, A_n, S, CC\}.$$

Здесь P – множество пользователей системы; A_i – i -ый вид АРМ, $i = \overline{1, n}$; S – множество серверов системы; CC – система связи (телефоны, радиы, блоки связи GPRS, GPS-приемники, маршрутизаторы, модемы). Состав каждого АРМ представляется отношением вида $A_i \subseteq M \times T \times P \times D$, где M – математическое обеспечение КСАУ, T – множество технических средств, P – множество программных средств КСАУ, D – множество данных, обеспечивающих решение задач управления ССМП. В качестве функциональной модели КСА можно рассматривать имитационную модель работы ССМП, представленную в главе 2.

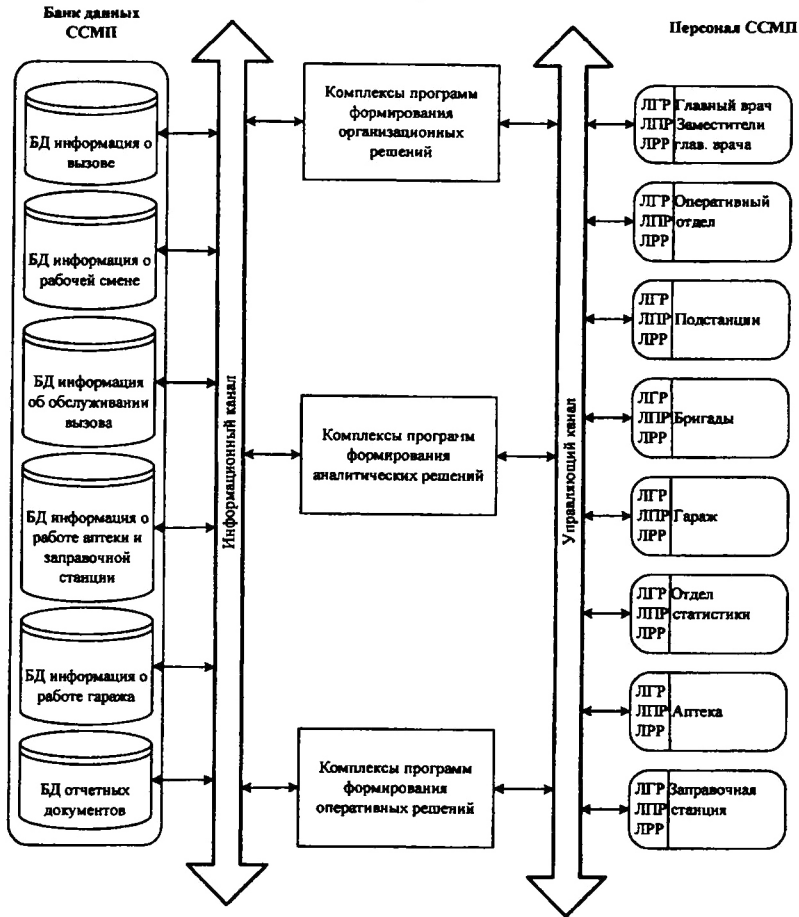


Рис. 5.

Управленческие решения в ССМП формируются, согласовываются и принимаются следующими категориями персонала: 1) ЛПР – главный врач ССМП, заместители главного врача различных структур ССМП, старший дежурный врач, дежурный диспетчер, фельдшеры-эвакуаторы, заведующий аптекой, начальник гаража; 2) лица, готовящие решения – медицинские статистики, аналитики, фельдшеры-эвакуаторы, диспетчеры приема вызовов, старшие бригады; 3) лица, реализующие решения – работники оперативного отдела, гаража, аптеки, заправочных станций, подстанций, административно-хозяйственного отдела ССМП. В главе приводится структура и функции распределенной системы поддержки принятия решений, которая содержит блок решения задач управления ССМП, приведенных на рис. 1.

Одним из важнейших принципов построения КСАУ ССМП является принцип обеспечения высокой степени надежности системы. Для расчета функции надежности системы была использована схема, состоящая из функциональных групп КСАУ

подключенных последовательно, внутри которых параллельно друг другу работают АРМ. Функция надежности вычисляется по формуле вида:

$$p_c(t) = [1 - (1 - p_1(t)p_2(t)p_3(t)p_4(t))(1 - p_5(t))]p_6(t)p_7(t). \quad (21)$$

Здесь $p_c(t)$ – функция надежности работы ССМП; $p_1(t) = 1 - (1 - p_{ЭВМ}(t)p_T(t)(1 - p_{КЗПП}(t)))^k$ – вероятность безотказной работы АРМ диспетчера приема вызовов; $p_2(t) = 1 - (1 - p_{ЭВМ}(t)p_T(t)p_p(t)(1 - p_{КЗПР}(t)))^l$ – вероятность безотказной работы АРМ диспетчера направления; $p_3(t) = 1 - (1 - p_{ЭВМ}(t)p_T(t))^z$ – вероятность безотказной работы АРМ диспетчеров подстанции; $p_4(t) = 1 - (1 - p_{МЭВМ}(t)p_{GPRS}(t)(1 - p_{GPS}(t))(1 - p_p(t)))^w$ – вероятность безотказной работы АРМ врачей бригады; $p_5(t) = 1 - (1 - p_{ЭВМ}(t)p_{ПР}(t)p_I(t))^v$ – вероятность безотказной работы АРМ администрации.

В этих формулах использованы следующие обозначения: $p_{ЭВМ}(t)$ – вероятность безотказной работы ЭВМ, $p_T(t)$ – вероятность безотказной работы телефона; $p_{КЗПП}(t)$ – вероятность безотказной работы комплекса записи телефонных переговоров; $p_p(t)$ – вероятность безотказной работы рации; $p_{КЗПР}(t)$ – вероятность безотказной работы комплекса записи переговоров по рации; $p_{МЭВМ}(t)$ – вероятность безотказной работы мобильного ЭВМ, $p_{GPRS}(t)$ – вероятность безотказной работы блока связи GPRS, $p_{GPS}(t)$ – вероятность безотказной работы GPS-приемника; $p_d(t)$ – вероятность безотказной работы сервера КСАУ ССМП, $p_A(t)$ – вероятность безотказной работы маршрутизатора КСАУ ССМП.

Как показала практика, КСАУ ССМП является развивающейся системой. В работе приводятся математические модели изменения вероятностей безотказной работы звеньев КСАУ ССМП при включении в них нового элемента:

$$p(\tau_n) = \begin{cases} p(\tau_{n-1})p, & \text{при последовательном подключении нового элемента,} \\ p(\tau_{n-1})(1 - p) + p, & \text{при параллельном подключении нового элемента,} \end{cases}$$

Здесь τ_{n-1} – момент времени, к которому введена в эксплуатацию рассматриваемая система с надежностью $p(\tau_{n-1})$, p – надежность включаемого элемента. В главе дается аналитическое решение этого рекуррентного уравнения.

Для обеспечения высокого уровня надежности системы, КСАУ ССМП предлагается рассматривать как систему с мгновенным восстановлением работоспособности с помощью определенного числа $N_i, i = 1, n$ запасных элементов (ЗЭ). Для определения числа ЗЭ предлагается решать двухкритериальную задачу вида:

$$C = \sum_{i=1}^n c_i N_i \rightarrow \min_{N_i}, \quad (22)$$

$$\bar{T}_1 = \sum_{i=1}^n (N_i / \lambda_i) \rightarrow \max_{N_i}, \quad (23)$$

$$p_{mp} \leq p_c(t) < 1, \quad N_i \in \{1, 2, \dots\},$$

$$\begin{aligned} \text{где } p_c(t) = & [1 - (1 - (1 - (1 - e^{-\lambda_{ЭВМ}t}) \sum_{m=0}^{N_{ЭВМ}} \frac{(\lambda_{ЭВМ}t)^m}{m!} e^{-\lambda_T(t)} \sum_{m=0}^{N_T} \frac{(\lambda_T t)^m}{m!})^k) \times \\ & \times (1 - (1 - e^{-\lambda_{ЭВМ}t}) \sum_{m=0}^{N_{ЭВМ}} \frac{(\lambda_{ЭВМ}t)^m}{m!} e^{-\lambda_T(t)} \sum_{m=0}^{N_T} \frac{(\lambda_T t)^m}{m!} e^{-\lambda_p(t)} \sum_{m=0}^{N_p} \frac{(\lambda_p t)^m}{m!})^l) \times \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} & \times (1 - (1 - e^{-\lambda_{3BM}(t)} \sum_{m=0}^{N_{3BM}} \frac{(\lambda_{3BM}t)^m}{m!} e^{-\lambda_T(t)} \sum_{m=0}^{N_T} \frac{(\lambda_T t)^m}{m!})^z) \times \\ & \times (1 - (1 - e^{-\lambda_{КПК}(t)} \sum_{m=0}^{N_{КПК}} \frac{(\lambda_{КПК}t)^m}{m!} e^{-\lambda_{КПК}(t)} \sum_{m=0}^{N_{КПК}} \frac{(\lambda_{КПК}t)^m}{m!})^w)) \times \\ & \times (1 - (1 - (1 - e^{-\lambda_{3BM}(t)} \sum_{m=0}^{N_{3BM}} \frac{(\lambda_{3BM}t)^m}{m!})^v)) \times \\ & \times e^{-\lambda_{ср}(t)} \sum_{m=0}^{N_{ср}} \frac{(\lambda_{ср}t)^m}{m!} e^{-\lambda_{нар}(t)} \sum_{m=0}^{N_{нар}} \frac{(\lambda_{нар}t)^m}{m!}. \end{aligned}$$

Помимо критерия (23) можно использовать минимаксный критерий вида:

$$\bar{T}_2 = \min_{1 \leq i \leq n} \{N_i / \lambda_i\} \rightarrow \max_{N_i}, \quad (25)$$

обеспечивающий максимальное среднее время исчерпания ЗЭ для самого ненадежного элемента рассматриваемой системы.

Алгоритм решения задачи расчета оптимального количества ЗЭ состоит из следующих этапов: 1) администратор КСАУ выделяет виды ЗЭ, определяет их стоимости, интенсивности отказов и значение требуемой вероятности безотказной работы; 2) администратор КСАУ с помощью своего АРМ решает задачу (22) – (24) или (22), (25), (24) с использованием разработанного численного метода решения задач (2) – (3); 3) на основе полученного решения, главный врач принимает решение о количестве ЗЭ КСАУ; 4) администратор КСАУ реализует принятое решение, проводя закупки ЗЭ и организуя их хранение.

В четвертой главе приводятся результаты решения задач, сформулированных во второй и третьей главах диссертации.

В соответствии с моделями (5) – (8) рассмотрен пример оптимального распределения пяти бригад по восьми вызовам. Согласно имеющимся статистическим данным, в 12:15 в очереди рассматриваемой ССМП находилось восемь вызовов, информация о которых приведена в таблице 1.

Таблица 1

Вызов	Время приема	Повод к вызову	Рекомендуемая бригада	Степень срочности
B1	11:00	Высокая температура	Фельдшерская, линейная	1 – длительное ожидание обслуживания
B2	12:13	ДТП	Реанимационная, линейная	1 – срочный вызов
B3	11:45	Высокая температура	Фельдшерская, линейная	3 – поликлинический вызов
B4	12:00	Рвота, боли в животе	Линейная, фельдшерская	2 – вызов неотложной помощи
B5	11:15	Болит голова, не травма	Линейная, фельдшерская	2 – вызов неотложной помощи
B6	11:56	Перевозка больного из ЛПУ1 в ЛПУ2	Фельдшерская	2 – перевозка больного
B7	10:45	Перевозка крови	Фельдшерская	3 – перевозка крови
B8	12:12	Высокое давление	Реанимационная, линейная	1 – срочный вызов

При этом в 12:15 на ССМП было пять свободных бригад следующего профиля: Б1 – кардиологическая бригада, Б2 – реанимационная бригада, Б3 и Б4 – линейные бригады, Б5 – фельдшерская бригада.

Проведя 3000 статистических испытаний, было получено два паретооптимальных решения задачи (5) – (8) (см. таблицу 2).

Таблица 2

№1	Направляемая бригада	$T_{\text{пер}}$, мин	W	S
Вызов 1	Линейная	10	Соответствует	1
Вызов 2	Реанимация	10	Соответствует	1
Вызов 3	Линейная	20	Соответствует	3
Вызов 4	Вызов ожидает обслуживания			2
Вызов 5	Вызов ожидает обслуживания			2
Вызов 6	Фельдшерская	30	Соответствует	2
Вызов 7	Вызов ожидает обслуживания			3
Вызов 8	Кардиологическая	10	Соответствует	1
<i>Максимальное время доезда равно 30 мин, суммарное соответствие профилей равно 5, максимальный приоритет равен 3</i>				
№2	Направляемая бригада	$T_{\text{пер}}$	W	S
Вызов 1	Линейная	10	Соответствует	1
Вызов 2	Линейная	20	Соответствует	1
Вызов 3	Вызов ожидает обслуживания			3
Вызов 4	Реанимация	20	Не соответствует	2
Вызов 5	Фельдшерская	20	Соответствует	2
Вызов 6	Вызов ожидает обслуживания			2
Вызов 7	Вызов ожидает обслуживания			3
Вызов 8	Кардиологическая	10	Соответствует	1
<i>Максимальное время доезда равно 20 мин, суммарное соответствие профилей равно 4, максимальный обслуживаемый приоритет равен 2</i>				

При времени доезда равным 30 минутам совпадение профилей составляет 100%, но бригады отправляются на вызовы с первым и третьим приоритетом, вызовы со вторым приоритетом продолжают находиться в очереди ожидания обслуживания. При меньшем значении времени перемещения бригад к больным равным 20 мин условие совпадения профиля заболевания больного и специализации бригады выполняется лишь на 80%, при этом в первую очередь начинают обслуживаться вызовы с первым и вторым приоритетом. Поэтому на наш взгляд, наиболее предпочтительным будет вариант №2, т.к., несмотря на уменьшение коэффициента профильности, имеем минимальное время передвижения бригады до вызова и минимальные приоритеты обслуживаемых вызовов. Принятие окончательного решения осуществляется фельдшером-эвакуатором, на АРМ которого выдаются паретооптимальные варианты распределения бригад по вызовам.

В задаче планирования госпитализации больных бригадами ССМП были рассмотрены 5 больных, которых требовалось госпитализировать в следующие отделения ЛПУ: терапевтическое или инфекционное, родильное, травматологическое, педиатрическое и инфекционное. В рассматриваемом НП дежурило пять ЛПУ, информация о которых приведена в таблице 3.

При решении рассматриваемой задачи по алгоритму, описанному в главе 2, было проведено 1300 экспериментов, что позволило определить два оптимальных по Парето варианта госпитализации больных (см. таблицу 4).

Таблица 3

ЛПУ	Кол-во свободных мест	Профиль ЛПУ	Время подготовки 1 места
1	2	Терапия	10 мин
2	2	Травматология	5 мин
3	2	Инфекция	30 мин
4	1	Роддом	25 мин
5	3	Педиатрия	60 мин

Таблица 4

№1	ЛПУ	$T_{пер}, \text{мин}$	W	$T_{пр}, \text{мин}$
Вызов 1	Терапия	45	Соответствует	10
Вызов 2	Роддом	56	Соответствует	25
Вызов 3	Травматология	34	Соответствует	5
Вызов 4	Травматология	34	Не соответствует	5
Вызов 5	Терапия	10	Не соответствует	10
<i>Максимальное время доезда равно 56 мин, суммарное соответствие профилей равно 3, суммарное время подготовки койко-мест равно 55 мин</i>				
№1	ЛПУ	$T_{пер}, \text{мин}$	W	$T_{пр}, \text{мин}$
Вызов 1	Терапия	45	Соответствует	10
Вызов 2	Роддом	56	Соответствует	25
Вызов 3	Травматология	34	Соответствует	5
Вызов 4	Травматология	34	Не соответствует	5
Вызов 5	Инфекция	80	Соответствует	30
<i>Максимальное время доезда равно 80 мин, суммарное соответствие профилей равно 4, суммарное время подготовки койко-мест равно 75 мин</i>				

Из таблицы 4 видно, что при времени госпитализации больных $T = 56$ мин условие совпадения профиля заболевания больного и специализации ЛПУ совпадает в 60%, при максимальном значении времени $T = 80$ мин профиль совпадает в 80% случаев. Если исходить из условия максимального соответствия профиля заболеваний больных и специализаций ЛПУ, то оптимальным будет вариант №2, поскольку он обеспечивает полное совпадение профилей и специализаций. Окончательное решение о плане госпитализации больных принимает фельдшер-эвакуатор, исходя из значимости соответствующих критериев. Вычисления проводились с помощью КП «Распределение больных по ЛПУ».

При решении задачи оценки динамики численности автомобилей была рассмотрена ССМП крупного НП, включающая в себя $N=200$ автомобилей. На рассматриваемой ССМП один автомобиль находится в рабочем состоянии в среднем 22 ч, при этом из них в ремонте – 2 часа. Вероятность того, что он будет отремонтирован, составляет $p_{21} = 0,99$, а то, что будет списан – $p_{23} = 0,01$. Интенсивности перехода были вычислены по формулам (12). Из анализа полученных данных, вычисленных по формулам (14), следует, что через год будет списано 29 автомобилей, что составит 14% от исходной численности автомобилей. По формуле (15) был вычислен момент максимальной загрузки автомехаников в ССМП, равный 13 ч. С помощью формул (16) были вычислены значения среднеквадратических отклонений числа автомобилей, которые не превышают 7 автомобилей, что по сравнению с общим количеством, составляет менее 4%. Это означает правомочность использования метода динамики средних для описания динамики действующего парка автомобилей.

С использованием модели (17) – (19) и статистических данных по одному из

НП была решена задача прогнозирования количества вызовов. Численность обслуживаемого населения на начальный момент времени $t_0 = 31.12.2006$ прогнозировании составляла $N = 192810$ чел. Из имеющихся данных было получено, что 31 декабря 2006 года на пульт ССМП поступило $m_2(t_0) = 156$ вызовов, и $m_1(t_0) = 192654$ чел. СМП не понадобилась. Вероятность поступления вызова 31 декабря составила $P_{12}(t_0) = 0,0008$. Вероятность того, что поступивший вызов будет обслужен ССМП, была равна $P_{21}(t_0) = 0,76$. Результаты прогнозирования приведены на рис. 6.

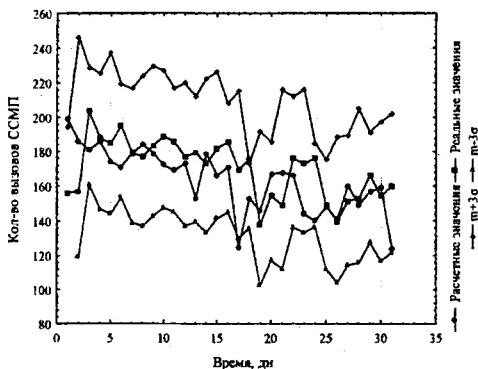


Рис. 6.

Из анализа полученных данных следует, что только 6% реальных значений количества вызовов выходят за пределы $m_i(t) \pm 3\sigma_i$, $i = \overline{1,2}$, а величины средних относительных ошибок соответственно равны $\Delta_1 = 0,007\%$, $\Delta_2 = 8,75\%$, что составляет высокую точность прогноза.

Далее был рассмотрен пример построения прогноза количества вызовов к фельдшерским, линейным и кардиологическим бригадам с 1 по 31 января 2006 года, т.е. $t_0 = 31.12.2006$, $\Delta t = 1$ день. Согласно имеющимся данным 31 декабря фельдшерские бригады обслужили 89 чел, линейные – 53, кардиологические – 14. Тогда 192654 чел 31 декабря не воспользовались услугами ССМП. Т.о., начальные переходные вероятности соответственно равны $P_{12}(t_0) = 0,00046$, $P_{13}(t_0) = 0,0027$, $P_{14}(t_0) = 0,000073$, $P_{21}(t_0) = 0,57$, $P_{31}(t_0) = 0,34$, $P_{41}(t_0) = 0,089$, $P_{23}(t_0) = 0$, $P_{24}(t_0) = 0$, $P_{32}(t_0) = 0$, $P_{34}(t_0) = 0$, $P_{42}(t_0) = 0$, $P_{43}(t_0) = 0$, $P_{11}(t_0) = 0,9992$, $P_{22}(t_0) = 0,43$, $P_{33}(t_0) = 0,66$, $P_{44}(t_0) = 0,91$. Результаты прогноза приведены на рис. 7 – рис. 9.

Сопоставив полученные данные с имеющейся статистикой за январь месяц 2006 года, было получено, что 3% реальных значений количества вызовов выходят за пределы $m_i(t) \pm 3\sigma_i$, $i = \overline{1,4}$. Величины средних относительных ошибок составляют: $\Delta_1 = 0,01\%$, $\Delta_2 = 14,21\%$, $\Delta_3 = 15,85\%$, $\Delta_4 = 16,43\%$. Точность полученного прогноза является высокой.

Задача (20) была решена при следующих исходных данных: 1) за сутки на пульт СМП поступает в среднем 200 вызовов; 2) время обслуживания вызова оператором составляет в среднем 2 минуты, а бригадой – 40 минут; 3) стоимость приема вызовов одним диспетчером за рабочую смену составляет 5 т. рублей, а бригадой –

15 т. рублей. В ходе решения этой задачи, было получено 13 вариантов оптимальных по Парето решений, приведенных в таблице 5.

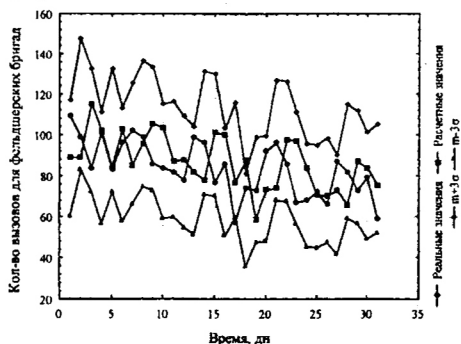


Рис. 7.

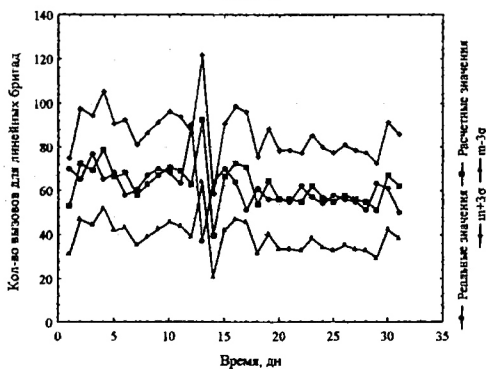


Рис. 8.

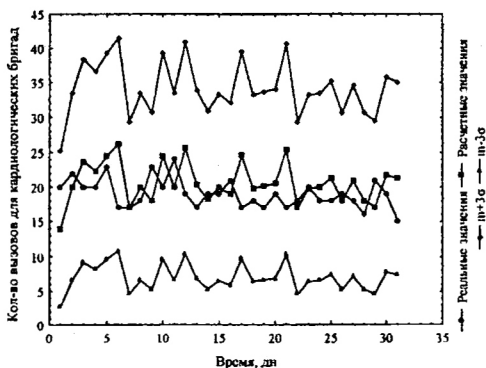


Рис. 9.

На наш взгляд, наиболее оптимальным будет решение №1, поскольку оно обеспечивает минимальное время обслуживания вызова диспетчерами и бригадами СМП и максимальную занятость сотрудников ССМП.

Таблица 5

№ варианта	1	2	3	4	5	6
Количество диспетчеров	1	1	1	1	1	1
Количество бригад	6	5	4	3	2	1
Ср. время обслуживания вызовов, мин	70	372	816	1300	1787	2275
Стоимость обслуживания вызовов, т. руб	95	80	65	50	35	20
Ср. кол-во вызовов, принятых 1 диспетчером	144	144	144	144	144	144
Ср. кол-во вызовов, обслуженных 1 бригадой	24	24	24	24	24	24

Пусть известно, что вероятности безотказной работы технических средств КСАУ ССМП соответственно равны: телефон $p_T=0,85$, рация $p_p=0,8$, ЭВМ $p_{ЭВМ}=0,8$, сервер $p_6=0,9$, маршрутизатор $p_7=0,7$, комплекс записи телефонных переговоров $p_{КЗП}=0,6$, мобильная ЭВМ $p_{МЭВМ}=0,9$, блок связи GPRS $p_{GPRS}=0,8$, GPS-приемник $p_{GPS}=0,85$, принтер $p_{ПР}=0,8$.

Тогда вероятности безотказной работы соответствующих АРМ КСАУ ССМП определяются как:

$$p_1 = 1 - (1 - 0,8 \cdot 0,85 \cdot (1 - 0,6))^{11} = 0,970, \quad p_2 = 1 - (1 - 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,6))^4 = 0,625,$$

$$p_3 = 1 - (1 - 0,8 \cdot 0,85)^8 = 0,999,$$

$$p_4 = 1 - ((1 - 0,8) \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,85))^{80} = 1, \quad p_5 = 1 - (1 - 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,85)^{11} = 0,999.$$

Как видно из вышеприведенных формул, самым ненадежным с точки зрения теории надежности является АРМ фельдшера-эвакуатора, а наименее безотказным АРМ врача бригады.

Используя формулу (21), определим общую надежность системы как:

$$p_c = [1 - (1 - 0,97 \cdot 0,63 \cdot 0,99 \cdot 1) \cdot (1 - 0,99)] \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 0,628.$$

Выделим в составе КСАУ ССМП следующие заменяемые элементы: ЭВМ, телефон, рация, мобильная ЭВМ, сервер и маршрутизатор. Построим множество паретооптимальных решений этой задачи при следующих исходных данных: $c_1=20$ т.р.; $c_2=2$ т.р.; $c_3=26$ т.р.; $c_4=20$ т.р.; $c_5=500$ т.р.; $c_6=2$ т.р.; $\lambda_1=2 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹; $\lambda_2=3 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹; $\lambda_3=4 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹; $\lambda_4=2 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹; $\lambda_5=3 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹; $\lambda_6=3 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹; $p_{mp}=0,98$. Множество паретооптимальных решений задачи приведено в таблице 6.

Таблица 6

№	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	С, т.р.	\bar{T}_1 , ч
1	1	2	2	3	3	4	1644	917
2	5	5	2	1	3	3	1688	1194
3	5	7	2	2	3	3	1712	1389
4	6	9	1	4	3	3	1750	1708
5	8	9	4	1	3	3	1808	1750
6	5	9	5	4	3	3	1834	1792
7	13	3	1	3	3	3	1858	1875
8	16	8	1	2	3	4	1910	2375
9	17	8	4	1	3	4	1988	2500
10	19	9	2	3	3	3	2016	2750
11	19	8	3	3	3	4	2042	2792
12	19	5	8	3	3	4	2166	2833
13	17	7	7	4	4	4	2624	2875

Согласно принципу «близости к идеальной точке», оптимальным решением за-

дачи (22) – (24) является следующий вариант: пять ЭВМ, пять телефонов, две рации, одна мобильная ЭВМ, три сервера, три маршрутизатора, при котором суммарная стоимость ЗЭ равна 1688 т. р, а суммарное среднее время исчерпания всех имеющих ЗЭ составит 71667 ч (≈ 8 лет).

При решении задачи (22), (25), (24) было проведено 2847 экспериментов, из которых 100 экспериментов оказались удачными. Подмножество паретооптимальных решений задачи представлено в таблице 7.

Таблица 7

№	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	C , т.р.	\bar{T}_2 , ч
1	1	7	1	1	3	4	1588	2500
2	3	4	2	2	3	4	1668	5000
3	2	7	3	3	3	4	1700	7500
4	2	3	4	4	3	3	1736	10000
5	8	9	8	4	4	4	2474	13333

Также используя принцип «близости к идеальной точке», выберем для реализации следующий вариант решения задачи: одна ЭВМ, семь телефонов, одна рация, одна мобильная ЭВМ, три сервера, четыре маршрутизатора, где общая стоимость ЗЭ равна 1588 т. руб., а максимальное время исчерпания ЗЭ для самого ненадежного элемента составит 2500 ч (≈ 3 месяца).

Приведенные выше результаты указывают на достоверность предлагаемых в работе математических моделей и реализуемость на практике разработанных методов и алгоритмов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы. В приложении приведены исходные данные, результаты вычислительных экспериментов и описание разработанных комплексов программ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В данной работе были получены следующие результаты:

1. Сформулированы основные принципы управления ССМП. Сформулировано современное определение понятия процесса управления ССМП. Предложена теоретико-множественная модель ССМП. Построено дерево целей и задач управления ССМП, учитывающее современные и перспективные направления работы ССМП. Выделены основные задачи управления ССМП.

2. Разработан специальный численный метод для решения задач дискретной векторной оптимизации.

3. Разработаны математические модели и алгоритмы следующих задач управления ССМП: планирование обслуживания вызовов бригадами СМП; планирование госпитализации больных бригадами СМП; прогнозирование действующего парка автомобилей ССМП; прогнозирование количества вызовов; оптимизация количества диспетчеров и бригад ССМП.

4. Предложена типовая структура и программно-аппаратный состав КСАУ ССМП. Сформулированы основные требования, выдвигаемые к КСАУ. Разработана общая информационная технология функционирования КСАУ ССМП.

5. Разработана методика расчета надежности работы КСАУ ССМП. Предложен подход к оценке надежности развивающейся ССМП. Разработана математическая модель задачи оптимизации объема ЗЭ для КСАУ, используемой при создании и эксплуатации ССМП.

6. Разработаны комплексы программ, реализующие предлагаемые алгоритмы решения рассмотренных в работе задач.

7. Предложенные модели решения основных задач управления ССМП апробированы на реальных данных. Выполненные при решении этих задач вычислительные эксперименты показывают адекватность предлагаемых моделей и методов, которые могут быть использованы при создании КСАУ ССМП.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

В научных журналах, рекомендованных ВАК:

1. *Моисеев В.С., Бутузова А.В., Мейко А.В.* Оптимизация объема запасных элементов для изделий авиационной техники с мгновенным восстановлением // *Авиационная техника*. Вып. 1. – Казань, Издательство Казанского государственного технического университета, 2007 г. С. 54 – 57.

2. *Моисеев В.С., Альмухаметова А.Ф., Бутузова А.В.* О модификациях классической транспортной задачи по критерию времени // *Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева*, 2008 г, №1, С. 70 – 75.

В других журналах и материалах научных конференций:

3. *Сбоева А.В.* Определение пропускной способности станции скорой медицинской помощи г. Казани // Тезисы докладов XI Всероссийской (с международным участием) молодежной научной конференции "Туполевские чтения". Том 3. Казань: изд-во КГТУ, 2003. С. 17.

4. *Зайдуллин С.С., Сбоева А.В.* Задача оптимального планирования передвижения мобильных средств диспетчерских систем // Тез. докл. Всеросс. научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов «Биотехнологические, медицинские и экологические системы и комплексы» (Биомедсистемы-2003) – Рязань: изд-во РГРТА, 2003. С. 98 – 100.

5. *Сбоева А.В.* Математическая модель прогнозирования численности населения, обслуживаемого диспетчерской службой // Тез докл. международной молодежной научной конференции "XXX Гагаринские чтения" – М.: МАТИ – РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2004. – Том 2, С. 97 – 98.

6. *Сбоева А.В.* Задача прогнозирования процессов обслуживания населения оперативно-диспетчерскими службами // Труды 5-ой Международной научно-технической конференции «Компьютерное моделирование 2004». СПб.: Изд-во «Нестор», 2004 г. Часть 2. С. 28 – 29.

7. *Сбоева А.В.* Проблемы мониторинга и управления скорой медицинской помощью // Тез. докл. XII Международной молодежной научной конференции "Туполевские чтения". – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2004 г. Том III. С. 140 – 141.

8. *Моисеев В.С., Сбоева А.В.* Математические модели оценки функционирования надежности интегрированной системы управления регионом // Всероссийская научная конференция "Теория и практика системной динамики". – Апатиты, КНЦ РАН, 2004. С. 96 – 102.

9. *Моисеев В.С., Сбоева А.В.* Математическая модель прогнозирования численности населения обслуживаемого оперативно-диспетчерскими службами // Исследования по информатике. Вып.8. – Казань: Отечество, 2004. С. 63 – 75.

10. *Сбоева А.В., Фазыльянов Ф.М.* Математические модели оценки надежности

функционирования интегрированной системы управления // 2-я Ежегодная международная научно-практическая конференция «Инфокоммуникационные технологии глобального информационного общества», Казань, 2004 г. С. 126.

11. *Моисеев В.С., Сбоева А.В., Фазылзянов Ф.М.* Структура и функции автоматизированной системы управления скорой медицинской помощью крупного населенного пункта // 2-я Ежегодная международная научно-практическая конференция «Инфокоммуникационные технологии глобального информационного общества», Казань, 2004 г. С. 157.

12. *Моисеев В.С., Бутузова А.В.* Основные задачи разработки автоматизированной системы управления скорой медицинской помощью // Исследования по информатике. Вып.10. – Казань: Отечество, 2005 г. С. 141 – 150.

13. *Бутузова А.В., Моисеев В.С.* Принципы управления системой скорой медицинской помощи // Труды XIII международной научно-практической конференции «Управление организацией: диагностика, стратегия, эффективность», СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2005 г. С. 26 – 29.

14. *Бутузова А.В.* Математические задачи анализа и синтеза системы скорой медицинской помощи // Материалы конференции «Туполевские чтения: международная молодежная конференция, посвященная 1000 летию города Казани», 2005 г., III том, Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. С. 7 – 9.

15. *Бутузова А.В.* Автоматизированное рабочее место врача бригады скорой медицинской помощи // Тезисы докладов 12-ой Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2005». – М.: МИЭТ, 2005. С. 136.

16. *Бутузова А.В.* Системный анализ процесса управления работой станции скорой медицинской помощи // Труды X Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении». Ч. 3. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. С. 127 – 128.

17. *Бутузова А.В.* Структура автоматизированной системы управления станцией скорой медицинской помощи // Сборник статей IV российско-украинского научно-технического и методического симпозиума «Информационно-вычислительные технологии и их приложения». – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. С. 34 – 37.

18. *Бутузова А.В.* Развитие задачи о назначениях для оптимального планирования перемещения бригад // Сборник докладов молодежной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и образования», 2006 г., Зеленодольск: Изд-во О-КЕЙ. С. 192 – 195.

19. *Бутузова А.В., Моисеев В.С.* Задача планирования перемещения бригад скорой медицинской помощи // Материалы международной молодежной конференции «XIV Туполевские чтения», 2006 г., Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. С. 4 – 6.

20. *Моисеев В.С., Дятчин В.В., Козар А.И., Бутузова А.В.* Об автоматизированных системах специального назначения // Исследования по информатике. Вып. 11. – Казань: Отечество, 2007. – С. 153 – 162.

21. *Моисеев В.С., Бутузова А.В.* Дискретный метод «динамики средних» // II-ая Всероссийская научная конференция «Теория и практика системной динамики». Материалы докладов. – Апатиты, КНЦ РАН, 2007. С. 24 – 27.

Сбоева в 2004 году сменила фамилию на Бутузову (свидетельство о регистрации брака серия 1-КБ № 642119).

10

Подписано в печать 10.11.09г. Форм. бум. 60x80 1/16. Печ. л. 1,5.
Тираж 110. Заказ № 206.
Отпечатано с готового оригинал – макета в ООО «Вестфалика»
г. Казань, ул. Б. Красная, 67. Тел.: 250-30-42